

DEGRADO E SICUREZZA DEL VIADOTTO RAGO SULLA A2

Il viadotto Rago

**A OLTRE 50 ANNI DI ETÀ, LA STRUTTURA A MORANO CALABRO (CS)
È STATA OGGETTO DA PARTE DI INTEGRA DI APPROFONDITE ATTIVITÀ DI CONTROLLO
E VERIFICA DELLE CRITICITÀ DOVUTE AL FISIOLGICO DEGRADO**

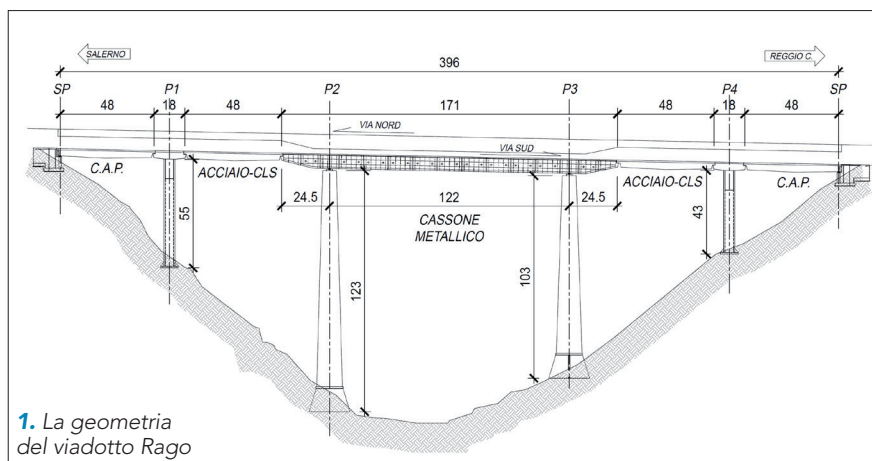
Larticolo riassume le attività di controllo e verifica eseguite sul viadotto Rago, una delle opere più imponenti dell'autostrada A2, sito al km 181+900 in località Morano Calabro (CS). Il viadotto presenta alcune criticità dovute in larga misura al fisiologico degrado accumulato in oltre 50 anni di servizio, altre ascrivibili allo schema statico adottato per la travata, che di fatto è una successione di elementi in semplice appoggio.

Con l'occasione saranno discussi alcuni aspetti di queste valutazioni di sicurezza [1] oggi in corso su tutta la rete infrastrutturale italiana, terminando infine con una breve introduzione a quelli che saranno gli interventi di manutenzione straordinaria da effettuarsi a partire dalla prossima stagione autunnale sul viadotto stesso.

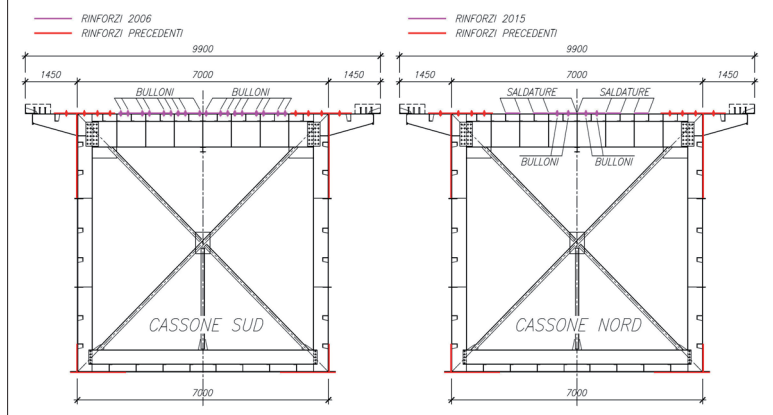
Il Rago è costituito da una grande luce (122 m) in semplice appoggio realizzata con un cassone a lastra ortotropa la quale, per ridurre i momenti positivi in mezzera, è dotata di due sbalzi simmetrici (24,5 m) su cui poggiano le campate di accesso, realizzate con impalcato a struttura mista acciaio-calcestruzzo (48 m). Seguono quindi due campate, una per parte, in semplice appoggio realizzate con travi in c.a.p. (48 m) come indicato nel prospetto in figura 1.

LO STATO DI FATTO

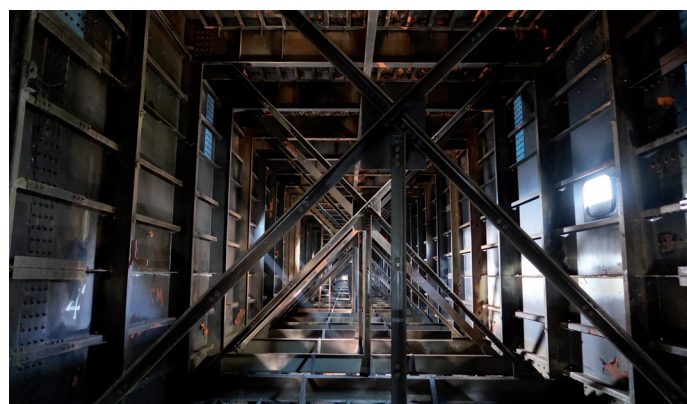
In origine i cassoni sono stati realizzati per assiemaggio dei conci mediante saldatura parziale a piè d'opera, successiva unione dei vari conci mediante bullonatura nel fondo valle e quindi sollevamento in quota, dove è stato eseguito il collegamento ai conci di testa pila, già predisposti in precedenza. In seguito, la carpenteria metallica originale è stata oggetto di rinforzi mirati ad incrementarne la resistenza locale e globale mediante l'aggiunta di piattame imbullonato e saldato in intradosso ed estradosso e l'aggiunta di diaframmi.



1. La geometria del viadotto Rago



2. Le sezioni di impalcato



3. L'interno del cassone Sud

Nel 2006 la lastra ortotropa superiore del cassone Sud ha subito un primo intervento di placcaggio con piatti longitudinali (sp. 10 mm) bullonati al suo estradosso; tale diffusa bullonatura ha reso il cassone vulnerabile alle infiltrazioni d'acqua, innescando (o perlomeno accelerando) i già citati fenomeni di degrado. Circa dieci anni più tardi (2014-2015), in occasione della messa a norma delle barriere stradali, è stato realizzato un secondo esteso intervento sull'intero viadotto. Le pile dei viadotti di accesso hanno subito un ripristino corticale (le pile centrali erano state oggetto di interventi precedenti). Le travi delle campate in c.a.p. sono state bonificate superficialmente e una delle quattro campate è stata oggetto di un rinforzo pilota con precompressione esterna, al quale però non sono seguiti interventi sulle altre campate dello stesso tipo. La sostituzione delle barriere ha richiesto il rifacimento dei cordoli con allargamento della piattaforma (40 cm), necessario per ancorare i nuovi moduli con rete di protezione. Il cassone Nord è stato oggetto di un intervento di placcaggio simile a quello del cassone Sud (piatti sp. 12-15 mm) ma una maggiore perizia nella messa in opera ha permesso di limitare efficacemente le infiltrazioni d'acqua. Un minor numero di bulloni è stato affiancato a saldature a cordone dei piatti integrativi, in modo da sigillare, almeno parzialmente, la lastra ortotropa. In entrambi i cassoni sono stati aggiunti diaframmi reticolari, fino ad averne approssimativamente uno per ogni campo. Cicli di protezione interni ed esterni con verniciatura epossidica e finitura poliuretana su entrambi i cassoni hanno completato gli interventi del 2015. Nel corso degli anni successivi, il cassone Sud è stato oggetto di numerosi altri interventi volti a sanare i danneggiamenti locali indotti dalle azioni dinamiche del traffico pesante, in particolare in prossimità del giunto lato Reggio Calabria.

La campagna di indagini e di rilievi realizzata nel 2023-24, su indicazioni degli scriventi, dalla società Socotec SpA, è stata piuttosto estesa e ha interessato sia le diverse tipologie di impalcato sia le sottostrutture (pile e spalle). In particolare è stato rilevato lo spessore della pavimentazione stradale nelle diverse campate e sono stati rilevati gli andamenti dei cigli, al fine di comprendere la distribuzione degli spessori della pavimentazione e valutare la presenza di eventuali ricariche (sovrasspessamenti di pavimentazione). Le solette, ove presenti, sono state indagate mediante saggi diretti per determinare le armature e tramite carotaggi per determinare le resistenze del calcestruzzo.

Gli impalcati in c.a.p. e quelli a struttura mista, molto carenti dal punto di vista della documentazione storica disponibile, sono stati oggetto di rilievi geometrici diretti e prelievi. Inoltre, le travi in c.a.p. sono state oggetto di prove di rilascio tensionale del calcestruzzo, utili a stimare la forza di precompressione presente in assenza di altre informazioni relative ai cavi (tracciato, diametro e numero, tensione di trazione). Pile e spalle sono state oggetto di carotaggi e conseguenti prove di laboratorio, ossia schiacciamento e carbonatazione. I cassoni metallici sono stati oggetto di estesi rilievi geometrici diretti, resi necessari dalla mancanza di elaborati progettuali "as built", e di una estesa campagna di rilievo dei placcaggi e delle bullonature integrative.

IL DEGRADO

Il cassone della grande luce di carreggiata Sud presenta problemi ricorrenti di rottura della lastra ortotropa, sia nel piattame superiore sia nei bulloni che lo collegano alla lastra originale. Questo avviene nei 30 m circa prima del giunto di uscita lato Reggio Calabria, posto in corrispondenza dell'appoggio delle campate di accesso a struttura mista sul cassone della grande luce (seggiola Gerber). In questo tratto del viadotto in carreggiata Sud, i camion in frenata inducono infatti sollecitazioni dinamiche verticali e tangenziali molto forti e ripetute.

Tutto questo naso finale del cassone è molto degradato: vi ha percolato acqua di piattaforma per oltre 50 anni. Il giunto stesso non è chiaro perché prevedesse una escursione longitudinale, oggi a fine corsa per l'accumularsi di traslazioni a valle (direzione Reggio) di tutte le travate, in quanto è presente un altro giunto sulla pila successiva, nel passaggio tra la trave a struttura mista delle campate di accesso e quelle successive in c.a.p.

Se si entra da questo naso dentro al cassone della grande luce lo spettacolo che si incontra è abbastanza apocalittico. La corrosione della lastra ortotropa superiore e inferiore è forte e l'ambiente molto poco accogliente, sia per l'entrata angusta sia per l'impressione di degrado da corrosione associata al martellamento dei mezzi pesanti che transitano sul ponte.

Negli anni si è intervenuti più volte a riparare questo tratto della lastra ortotropa; la scarsa efficacia di questi interventi è in parte giustificata dalle condizioni ambientali di cui sopra. Entri lì dentro e perdi un po' di lucidità: è come lavorare sott'acqua in apnea profonda, dove devi scendere con le idee chiare su cosa e come fare. Negli anni si è invece proceduto con una



4A e 4B. Degrado lastra ortotropa superiore e inferiore

sostituzione parziale dei bulloni. Messi in emergenza e senza un progetto, ma soprattutto mal serrati per via delle suddette condizioni ambientali, hanno avuto una durata piuttosto limitata. Proprio in considerazione del fatto che lavorare dentro il cassone del Rago è faticoso, gli scriventi hanno ritenuto che la prima cosa da fare fosse quella di avere una mappatura esatta di tutte le facce interne del cassone ovvero di tutti i pannelli, irrigidenti e bullonature di cui è composto questo scatolone che ha una sezione grossomodo quadrata di 7 m di lato. Con questa mappatura, a mente lucida, in un ambiente più adatto alla riflessione e progettazione, si è quindi potuto ragionare e quantificare gli interventi da mettere in atto per la sua riabilitazione.

La mappatura fotografica ad alta risoluzione è stata realizzata dal fotografo Fabiano Parisi per conto di Socotec SpA, che in alcune settimane di lavoro serrato ed estremamente faticoso è riuscito a mettere a disposizione, a noi che viviamo nel mondo esterno, una immagine chiara ed esaustiva di quello che succede lì dentro. Le foto ad alta risoluzione permettono di giudicare e contare a uno a uno i bulloni nuovi da quelli originali, quelli tranciati da quelli semplicemente svitati, la corrosione di quale irrigidente appartenente a quale pannello, etc.

Da questo punto di vista la fotografia e la fotogrammetria digitale hanno reso parzialmente superflua la tecnica laser scanner che, sì, avrebbe dalla sua il vantaggio di restituire misure con precisione micrometrica ma che per contro genera file giganteschi e ingestibili, pieni di informazioni del tutto superflue. Il futuro, dunque, è sicuramente della fotografia digitale: si fotografa una cosa in modo da poter dare un giudizio sintetico iniziale, dopodiché si interroga e analizza la fotografia per ottenere informazioni più di dettaglio, comprese le dimensioni. Tutto però nel campo dello spettro visibile.

Un altro elemento molto degradato del Rago sono i calcestruzzi faccia vista delle pile e la relativa armatura. Questo è un fenomeno diffuso in molte strutture da ponte di cui si è scritto e discusso fin troppo [2][3][4]. Come fattorizzare questo degrado nel modello matematico, ovvero quanto questo degrado riduca la capacità statica e sismica dell'opera, continua però a essere affidato al giudizio del responsabile delle verifiche.

Molte delle pile dei ponti italiani operano a un tasso di lavoro relativamente contenuto, largamente inferiore ai 2 MPa (1,7 MPa per le pile della grande luce del Rago). Il degrado corticale non ha quindi grande effetto sulla sicurezza statica rispetto a calcestruzzi che, in ambito infrastrutturale, hanno generalmente resistenze pari o superiori ai 30 MPa e sezioni di grande spessore. Diverso il caso dell'edilizia dove i tassi di lavoro sono superiori, gli spessori strutturali inferiori e la qualità dei calcestruzzi a vol-

te molto modesta (venivano annaffiati durante il trasporto), anche se nel caso dell'edilizia i degrading dei pilastri sono generalmente inferiori in quanto questi elementi sono spesso interni e quindi rivestiti e protetti.

La riduzione di capacità sismica è invece superiore rispetto a quella statica in quanto salta subito l'effetto confinante delle staffe e quindi la duttilità dell'elemento in calcestruzzo.

Di nuovo, con tassi di lavoro a compressione modesti, questa mancanza di confinamento potrebbe non essere così fatale ma si aggiunge la riduzione di sezione per corrosione delle barre tese e quindi la loro resistenza a trazione per sollecitazioni flettenti da sisma. Anche qui, la riduzione di sezione delle armature per corrosione comporta una riduzione di momento ultimo ma - se questa riduzione di momento ultimo ovvero di forza massima delle curve di capacità della pila non è associata a un forte decadimento di duttilità - la capacità sismica dell'opera potrebbe non essere troppo compromessa.

Il punto di lavoro delle pile da ponte che si plasticizzano al piede si colloca generalmente ben dentro il plateau sub orizzontale della domanda sismica in spostamenti; quindi a una riduzione di momento resistente non è associato un forte aumento di domanda in spostamenti e, se tale capacità in spostamenti della pila non decade per perdita di duttilità del calcestruzzo, il risultato cambia poco.

In effetti, la corrosione delle armature può ridurre la duttilità (capacità di allungamento) ma nelle armature da calcestruzzo armato è difficile sostenere che la corrosione sia fortemente caratterizzata da fenomeni di pitting - quindi corrosione localizzata a buchi - che tipicamente può innescare rotture fragili negli elementi di acciaio tesi e comunque difficilmente c'è contemporaneità di corrosione di tutte le barre su di una stessa sezione di verifica.

Ma è proprio su questo aspetto, la riduzione di performance sismica degli elementi ammalorati in c.a., che si sono viste tante analisi di sicurezza errate perché eccessivamente conservative. D'altronde un giudizio troppo conservativo sulla capacità residua di una data opera è cautelativo per chi lo formula e promozionale per chi volesse convincere il cliente della necessità di progettare interventi forti di riabilitazione e/o sostituzione.

In molti casi l'errore non è neanche in malafede ma solo dovuto al seguente corto circuito che è quasi comico nella sua ingenuità: il verificatore fa un modello agli elementi "infiniti" e quindi una analisi modale con spettro di risposta in accelerazione definendo una certa rigidità degli elementi strutturali, spesso quella al primo stadio delle sezioni non fessurate di solo c.a.. Le sollecitazioni ottenute vengono quindi abbattute per tener conto del comportamento non lineare della struttura con un fattore di duttilità q , il cui valore è fortemente variabile e relativamente soggettiva la sua scelta. In definitiva, si prendono valori di q molto cautelativi. Se i momenti che così si ottengono sono superiori alle resistenze flessionali che si calcolano con i software sezionali dopo un draconiano abbattimento di resistenza dei materiali, dell'area resistente delle armature e di diversi altri

fattori piuttosto arbitrari (confidenza?), bisogna demolire.

Il Rago ha le pile mal messe e si deve senz'altro prevedere un ripristino corticale importante. La risposta sismica di questo ponte non prevede però cicli di escursione plastica delle pile ripetuti: il ponte ha frequenze piuttosto basse. I ripristini si rendono necessari più che altro per garantire una più che vantaggiosa estensione di vita utile dell'opera. Un'altra forma di degrado che si nota nel viadotto, questa senz'altro più pericolosa perché difficile da valutare numericamente, è quella del sistema di appoggi e quindi della cinematica complessiva dell'opera. Le due travate, Nord e Sud, sono piene di giunti e appoggi. Solo nel tratto centrale delle grandi luci si hanno 4 giunti e 4 allineamenti di appoggio per ciascuna via: quelli tra cassone metallico e travi di accesso a struttura mista e quelli tra queste ultime e le successive campate in c.a.p.; 2 allineamenti per lato. Gli appoggi sono degradati e sono a fine corsa. I due ponti hanno una pendenza longitudinale che ha facilitato una deriva degli spostamenti; deriva di minimo dell'energia potenziale nei movimenti ciclici longitudinali dovuti a temperatura e altre azioni esterne. Non si capisce perché in meno di 300 m di ponte ci debbano essere ben 4 giunti di espansione. Risistemare e razionalizzare la cinematica e i vincoli del Rago sarà senz'altro l'operazione più difficile, affascinante e con più alto valore aggiunto.

LE MODELLAZIONI NUMERICHE

La verifica di sicurezza L4 del viadotto Rago ha richiesto un elevato grado di approfondimento dal punto di vista della modellazione numerica, in particolare per lo svolgimento delle analisi strutturali dei cassoni metallici. Si è scelto dunque di procedere aumentando progressivamente la complessità dei modelli E.F. realizzati. Inizialmente è stato realizzato un modello unifilare per l'impalcato, utile per stimare il comportamento globale, la sua rigidità e le sollecitazioni. Inoltre, dato l'evidente vantaggio di un modello unifilare in termini di semplicità d'uso e di calibrazione, i suoi risultati sono stati impiegati per controllo dei modelli più complessi realizzati in seguito, ad esempio in termini di deformazioni, sollecitazioni e risposta dinamica.



5. Il degrado dei calcestruzzi delle pile della grande luce del Rago

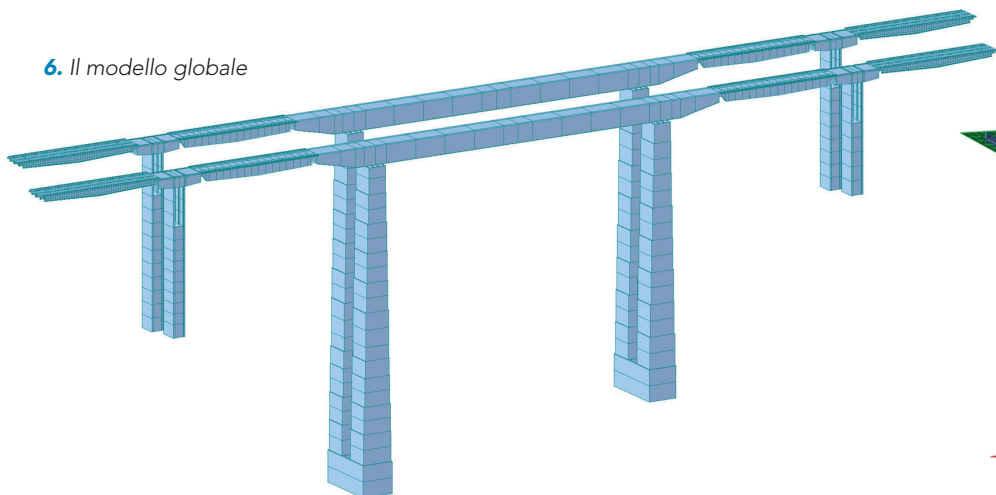
Il secondo modello realizzato ha impiegato elementi shell a lastra-piastra. È stata modellata una scatola metallica tridimensionale avente geometria coerente con la struttura reale (sezione 7 x 7,2 m) e gli spessori assegnati agli elementi piani sono stati desunti dagli elaborati storici e dai risultati dei rilievi diretti. Tali spessori, opportunamente maggiorati, tengono conto degli elementi longitudinali che irrigidiscono le lastre ortotrope superiori e inferiori e

le anime, mentre gli irrigidenti trasversali e i diaframmi sono stati modellati con elementi frame. Un modello siffatto ha permesso di cogliere comportamenti strutturali secondari preclusi da un semplice modello unifilare, come ad esempio l'effetto arco che si innesca in prossimità delle pile e che contribuisce significativamente alla rigidità degli sbalzi, oltre che permettere di cogliere al meglio gli effetti torsionali indotti dai carichi asimmetrici da traffico.

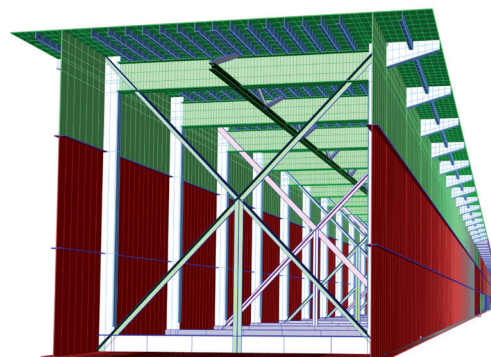
Un ulteriore approfondimento è stato compiuto con il terzo modello, finalizzato a studiare gli effetti locali sulla piastra ortotropa superiore indotti dai carichi concentrati del traffico pesante e realizzato anch'esso con elementi shell come il precedente. In questo modello però, contrariamente al precedente, le costolature della lastra ortotropa superiore sono state modellate con fedeltà geometrica e meccanica, rispettandone la geometria di sezione e la spaziatura. Dato l'elevato impegno computazionale necessario a risolvere tale modello, la modellazione di dettaglio è stata limitata a un tratto di impalcato sufficiente allo studio degli effetti locali per carichi concentrati (30 m circa).

Come accennato precedentemente, spesso l'elemento critico di queste verifiche è però quello relativo alla resistenza sismica. Un'ipotetica progettazione del nuovo in sostituzione dell'esistente dovrebbe assumere come azione sismica di riferimento un evento tellurico con un periodo di ritorno di circa duemila anni. È dimostrabile che sia le pile alte oltre 100 m a sostegno della grande luce sia le pile alte circa 45 m a sostegno dei viadotti di accesso abbiano una capacità in spostamenti adeguata a questa azione sismica. La normativa impone però anche verifiche in forza (ad esempio per il taglio) che, adottando resistenze dei

6. Il modello globale



7. Il modello 3D dettagliato del cassone metallico



materiali fortemente abbattute, forniscono risultati non compatibili con un giudizio di adeguatezza dell'opera nei confronti dell'azione sismica bi-millenaria citata. Abbassare l'orizzonte temporale di riferimento e allinearli a quello entro il quale l'opera può definirsi operativa nei confronti delle azioni statiche (30 anni) riduce l'azione da spettro sismico di riferimento e porta al soddisfacimento di tutte le verifiche richieste.

Da un punto di vista operativo, le analisi sismiche sono state svolte calcolando le curve di capacità delle pile nelle due direzioni, eseguendo un'analisi di tipo push-over su un modello della pila realizzato a fibre, considerando gli effetti della riduzione del copriferro e dell'ossidazione delle armature. Ai materiali sono stati assegnati legami costitutivi non lineari che tenessero in conto gli effetti del confinamento del calcestruzzo e dell'incrudimento dell'acciaio. I parametri caratterizzanti di tali leggi costitutive sono stati adeguatamente scelti sulla base dei risultati della campagna di indagini, adottando adeguati fattori di confidenza. Lungo le curve forza-spostamento delle pile sono stati individuati alcuni punti notevoli, corrispondenti ad esempio allo snervamento delle barre di acciaio più esterne, allo schiacciamento delle fibre di calcestruzzo corticali e alla resistenza ultima. Il confronto di tali punti con la risposta sismica in spostamenti dell'opera ha permesso di formulare i giudizi circa la sicurezza dei vari elementi strutturali (capacity spectrum method, CSM). Nei confronti delle azioni statiche permanenti e variabili, l'opera nel suo complesso è compatibile con una condizione di verifica di operatività, che prende in considerazione azioni agenti coerenti con quanto prescritto dalla normativa vigente, riferendole però a un orizzonte temporale limitato a 30 anni, invece che a un'ipotetica vita di riferimento del nuovo di 100 anni. L'eccezione a tale giudizio è rappresentata dal cassone metallico della carreggiata Sud, specificatamente gli ultimi 50 m direzione Reggio Calabria, afflitto dalle problematiche descritte precedentemente che possono dar luogo a meccanismi di rottura locali della lastra ortotropa superiore. Le verifiche svolte hanno evidenziato che tale parte di opera è compatibile con il transito dei mezzi pesanti purché sia ridotto in peso, limitato in velocità e riferito a un orizzonte temporale ulteriormente ridotto (5 anni), nell'attesa che vengano realizzati i futuri interventi, finalmente risolutivi, sulla lastra ortotropa ammalorata.

LE PROVE DI CARICO

Inizialmente si era pensato di utilizzare le prove di carico per valutare lo stato tensionale locale all'interno del cassone e soprattutto della lastra ortotropa, quando soggetta al passaggio dei mezzi pesanti. Si voleva capire se le rotture che si verificavano in questo elemento della grande luce della carreggiata Sud fossero dovute a un tasso di lavoro elevato e a conseguenti fenomeni di fatica.

Ci si è poi accorti che, per indurre tensioni significative in questi elementi, di fatto si sollecitava in maniera severa anche il meccanismo complessivo a travata. Se invece di 4 camion necessari a studiare gli effetti locali si fosse passati a 6, si sarebbe ottenuto oltre l'80% delle sollecitazioni globali SLE a flessione.

Si è quindi proceduto a effettuare queste prove di carico con 6 camion a pieno carico andando a monitorare sia gli abbassamenti globali della travata sia le deformazioni (strain) negli elementi locali della lastra ortotropa, sostanzialmente trasversi e ribs longitudinali e diagonali dei diaframmi.

Gli scriventi sono favorevoli all'utilizzo delle prove di carico, onde fugare ogni dubbio [5]. L'opportunità di effettuare le prove di carico in effetti dovrebbe essere inversamente proporzionale all'affidabilità delle modellazioni numeriche. Non avendo la pretesa che le nostre fossero sicuramente attendibili si è optato per la prova regina, quella fattuale. Le incertezze sulla modellazione del Rago erano sostanzialmente di 2 tipi:

- per quanto riguarda il comportamento globale non era chiara l'effettiva compartecipazione di tutti gli interventi di rinforzo succedutisi negli anni. A seconda di questa compartecipazione e dalle dimensioni del piattame aggiunto di cui non si aveva sicurezza essendo questo coperto dalla pavimentazione - che era possibile rimuovere solo a campione lasciando una corsia in esercizio - si sarebbero trovati abbassamenti differenti;
- per quanto riguarda le tensioni locali invece, è noto come sia difficile stimarle esattamente con modelli agli elementi finiti tridimensionali per tutta una serie di motivi che richiederebbero qui troppo spazio per essere discussi efficacemente.

Le prove di carico sono state fatte in carreggiata Nord, dove il degrado è molto minore, anche se gli interventi di rinforzo eseguiti sembrerebbero essere gli stessi di quelli in carreggiata Sud; quest'ultima ha subito rimaneggiamenti locali ripetuti a



8. Le prove di carico: 250 t in mezzera della grande luce

seguito delle rotture dei bulloni e del piastrame già discussi precedentemente.

Il fatto che le due carreggiate siano in pendenza non trascurabile e percorse in verso opposto, salita e discesa, è ritenuto uno dei motivi fondamentali della situazione di degrado diversificato tra i due impalcati.

Le prove hanno confermato che, ai fini del comportamento flessionale globale, il piastrame aggiunto è totalmente collaborante, almeno nell'intervallo tensionale causato dai carichi accidentali da Codice della Strada. Gli abbassamenti misurati sono stati di poco inferiori ai minimi attesi, probabilmente per la compartecipazione del pacchetto bituminoso e delle barriere e per le reazioni parassite dei vincoli, che hanno sempre un effetto irrigidente; ad esempio inducono un comportamento ad arco, specialmente in travate alte come quella del Rago che ha un rapporto luce altezza pari circa a 15.

Le prove dinamiche svolte su entrambi i cassoni hanno confermato le frequenze dei modi principali trovati con i modelli agli elementi finiti e hanno chiaramente mostrato la presenza di alcuni modi superiori (>10 Hz) che sono tipici delle quattro lastre ortotrope di cui è composto il cassone.

Durante le prove di carico statiche, alcune sezioni notevoli (mezzeria, pile e due sezioni intermedie) sono state strumentate con strain gauges posti all'interno del cassone, per monitorare la variazione dello stato deformativo (e quindi tensionale) dell'impalcato al passaggio dei mezzi pesanti. Le letture agli strain gauges hanno restituito valori globali coerenti con le previsioni, validando in tal modo le analisi svolte. Localmente, le variazioni di tensioni rilevate sono state pari approssimativamente a +50 MPa nel lembo teso nei trasversi superiori, circa +10 MPa nei diagonali dei diaframmi, circa -20 MPa nella lastra superiore in direzione longitudinale (per effetto di flessione globale e locale) e circa -10 MPa in direzione trasversale.

GLI INTERVENTI DI RIPRISTINO DELLA LASTRA ORTOTROPA

Confortati dai risultati delle prove effettuate, che indicano chiaramente come le tensioni di esercizio nella lastra ortotropa siano ragionevolmente contenute, ci si è concentrati sul risolvere il problema delle rotture che si verificano esclusivamente in carreggiata Sud poco prima del giunto. Qui la corrosione dovuta all'accumulo delle acque di piattaforma e l'azione dinamica dei mezzi pesanti in frenatura provocano continue rotture negli interventi di riparazione e rinforzo di questo tratto di lastra ortotropa.

Questi mezzi, che arrivano ad andatura sostenuta favorita da un lungo tratto rettilineo in discesa e dall'uscita dalla galleria (effetto Venturi!) che precede il viadotto provenendo da Salerno, frenano in prossimità del giunto che presenta una cuspidine verso l'alto dovuta al fatto, inconsueto, che il giunto non sia collocato in asse pila ma in punta allo sbalzo laterale della grande luce e accentuata dalla freccia permanente della campata a struttura mista in semplice appoggio immediatamente successiva alla grande luce stessa. Questa campata presenta una freccia permanente di alcuni decimetri, probabilmente un errore di geometria iniziale o un assestamento dei giunti bullonati in costruzione, che su una luce in semplice appoggio di 48 m dà una deformata visibile a occhio nudo.

La frenatura di questi mezzi pesanti in quel tratto è ineludibile anche perché, oltre alla non complanarità del giunto di cui sopra, il tracciato presenta una curva in destra di raggio piuttosto piccolo sebbene di deviazione contenuta. L'intervento proposto prevede in definitiva di sostituire il piattame di rinforzo esistente assicurandosi che il nuovo piattame sia imbullonato con bulloni di diametro leggermente superiore (dal M20 a M22) di tipo HRC con codolo sacrificale. Questo assicurerà un serraggio adeguato che dovrebbe scongiurare le rotture a fatica per taglio che si sono verificate nei bulloni precedenti, i quali non serrati correttamente lavoravano come spinotti a taglio.

Approfitando inoltre del fatto che attualmente sulla lastra ortotropa non c'è uno strato di impermeabilizzazione ma un abbondante pacchetto di pavimentazione bituminosa variabile tra 15 e 20 cm, si procederà alla completa rimozione di quest'ultimo sostituendolo con una adeguata impermeabilizzazione liquida, uno strato di circa 5 cm di betoncino fibrorinforzato ad altissima resistenza (UHFRC) e una pavimentazione standard di spessore inferiore ai 10 cm.

Da notare come in mancanza di una adeguata impermeabilizzazione tale funzione sia stata assolta negli anni dalla pavimentazione stradale. Quando per pochi anni si è provato a utilizzare la pavimentazione drenante (aperta), si è avuto un'impennata dei fenomeni di ammaloramento con un aumento marcato della percolazione delle acque meteoriche all'interno del cassone, facendo propendere per un rapido ritorno alla pavimentazione di tipo chiuso oggi presente sul ponte.

CONCLUSIONI

Prolungare la vita utile del viadotto Rago è possibile ma soprattutto necessario. Posizionato tra due gallerie, la sua sostituzione richiederebbe una spesa molto ingente e un forte disturbo per l'utenza. Come il viadotto Rago, quasi tutte le altre grandi luci della A2 sono state riabilite e continuano a essere utilizzate. È una scelta di buon senso: si evitano lavori lunghi e impattanti utilizzando la durevolezza e possibilità di rinforzo delle sezioni metalliche, quindi Sfalassà e Viadotto Italia, ovvero la tenacità e la grande robustezza di quelle in c.a.p., quindi Ruiz e Stupino. Per queste grandi luci è importante creare un database accurato e completo che si sedimenti e stratifichi negli anni. La documentazione disponibile sul Rago era modesta: qualche bella tavola originale (poche) delle carpenterie Cimolai e un progetto non risolutivo degli ultimi interventi del 2015. Il lavoro in consegna a opera degli scriventi dovrebbe rappresentare una prima sedimentazione ragionata dello stato di fatto di questa opera con annessa catalogazione del materiale storico disponibile. Le analisi agli elementi "infiniti", il famigerato digital twin, è senz'altro un elemento aggiuntivo di approfondimento e interpretazione ma è anche quello meno importante, se non altro perché è il più economico. Un buon modello agli elementi finiti, che è poi opportuno venga rifatto e rinfrescato negli anni, costa una frazione rispetto a quanto può costare ricostruire una documentazione esaustiva di un'opera d'arte di cui si sono persi i disegni costruttivi. Servono mesi di lavoro, pazienti e insalubri ricerche di archivio ma soprattutto una quantità ingente di indagini che magari non sono distruttive ma sono sempre piuttosto intrusive e spesso impattanti per l'utenza.

In Italia, dopo anni in cui si sono fatti pochissimi controlli, a seguito del crollo del Polcevera si è innescata una isteria da controlli e verifiche; attività che vengono spesso condotte in maniera seriale e acritica da personale non adeguatamente qualificato. Oggi stiamo creando terabyte di scansioni laser scanner largamente inutili ovvero migliaia di foto di modesta risoluzione prese a intervalli di tempo esageratamente ravvicinati. In altre parole abbiamo linee guida che pretendono una meticolosità e una frequenza di ispezione che non è realistico si possa mantenere nel tempo, escludendo la possibilità di un giudizio sintetico a priori che elimini operazioni palesemente inutili o comunque troppo frequenti. Sarà necessario rivedere queste linee guida in tempi rapidi, riducendo quantità e frequenza delle ispezioni

e permettendo un approccio più sintetico, effettuato da personale che può effettivamente vantare un'esperienza almeno ventennale nel settore dei ponti. ■

⁽¹⁾ Professore, Presidente Integra Srl

⁽²⁾ Vice Presidente Integra Srl

⁽³⁾ Direttore Tecnico Integra Srl

⁽⁴⁾ Ingegnere Integra Srl

⁽⁵⁾ Ingegnere Integra Srl

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento viene rivolto all'intera struttura Anas Autostrada del Mediterraneo per la fattiva cooperazione dimostrata durante tutte le attività che si sono rese necessarie al raggiungimento dello scopo. Di tutti i forti collaboratori e maestranze si devono citare in particolare, anche per il graditissimo apprezzamento dimostrato nei confronti del nostro lavoro, gli amici Massimiliano Campanella, Dirigente Anas Autostrada del Mediterraneo, Giuseppe Cozzolino, Responsabilità Manutenzione Programmata A2 e Antonio Vizza, Coordinatore delle attività di valutazione L4 secondo le LL GG ponti.

Bibliografia

- [1] Parere del C.S.LL.PP. n.88/2019 – "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti"
- [2] M. Petrangeli, I. Lardani, F. Del Drago (2019). "Conservazione e rinnovamento dei ponti stradali italiani", Strade & Autostrade, n. 136 (4/2019), pp. 46-56, ISSN 1723-2155.
- [3] Petrangeli M., Gasperoni L., Oliveti F., Potenza G. (2022). "La riabilitazione dei ponti stradali a travata", Strade & Autostrade, n. 154 (4/2022), pp. 65-70, ISSN 1723-2155.
- [4] Petrangeli M., Gasperoni L., Oliveti F., Potenza G. (2024). "La riabilitazione dei ponti in calcestruzzo armato", Strade & Autostrade, n. 164 (2/2024), pp. 47-52, ISSN 1723-2155.
- [5] Petrangeli M. (2020). "Collaudo Ergo Sum", Strade & Autostrade, n. 142 (4/2020), pp. 40-45, ISSN 1723-2155.

**DRACO al servizio del patrimonio
infrastrutturale italiano.**



Da 40 anni lavoriamo al servizio delle grandi opere infrastrutturali italiane, formulando prodotti chimici per il restauro delle opere in c.a. che rispondono ai più alti standard di prestazioni e sicurezza perché risultato di un processo di sviluppo incentrato su innovazione, sicurezza per l'operatore e durabilità assoluta.

